

Laminar-turbulente Transitionsvorgabe im DLR Navier-Stokes-Löser FLOWer

Die Modellierung der laminar-turbulenten Transition in Navier-Stokes-Lösern ist eine notwendige Anforderung für die Berechnung von Strömungskonfigurationen in der Luftfahrtindustrie. Häufig werden quantitativ oder sogar qualitativ richtige Ergebnisse nur unter Berücksichtigung der Transition erzielt. Eine Technik zur Transitionsvorgabe zerteilt das Berechnungsgebiet in laminare und turbulente Bereiche, die durch Transitionslinien auf der Konfigurationsoberfläche festgelegt sind. Die Transitionslinien werden ins Oberflächennetz abgebildet, womit eine Einteilung in laminare und turbulente Stücke vorliegt. In direkter Nachbarschaft zu laminaren Wandsegmenten werden laminare Raumgebiete erzeugt, deren Ausdehnung in Wandnormalenrichtung variabel ist. Turbulenzgrößen (z.B. μ_t) werden in geeigneter Weise numerisch behandelt. Vorgestellt werden Ergebnisse an mehrkomponentigen, 2- und 3-dimensionalen Konfigurationen (3-Element-Profil, Hubschrauber, Flügel-Rumpf-TW-Pylon).

1. Transitionsetzen auf Oberflächen

Die Einteilung des Berechnungsgebiets in laminare und turbulente Bereiche wird zunächst auf der Oberfläche der Konfiguration durch Abbildung einer vorgegebenen Transitionslinie in Form eines orientierten Polygonzugs in das Oberflächennetz vorgenommen. Die Abbildung erfolgt über den Vergleich der Longitudinalrichtungsordinate x eines Oberflächenpunkts P_S mit derjenigen eines P_S zugeordneten Punkts der Transitionslinie P_T , der mittels Projektion von P_S und der Transitionslinie in die auf der x -Richtung senkrecht stehenden $y - z$ -Ebene durch

$$\begin{aligned} y(P_T) &= [y(P_S)\Delta y^2 + y(P_{T,i})\Delta z^2 + [z(P_S) - z(P_{T,i})]\Delta y\Delta z]/(\Delta y^2 + \Delta z^2), \\ z(P_T) &= \Delta z/\Delta y[y(P_T) - y(P_{T,i})] + z(P_{T,i}) \end{aligned} \quad (1)$$

und $x(P_T)$, bestimmt mit z.B. linearer Interpolation in Transitionslinienrichtung, gegeben ist, Abb. 1.

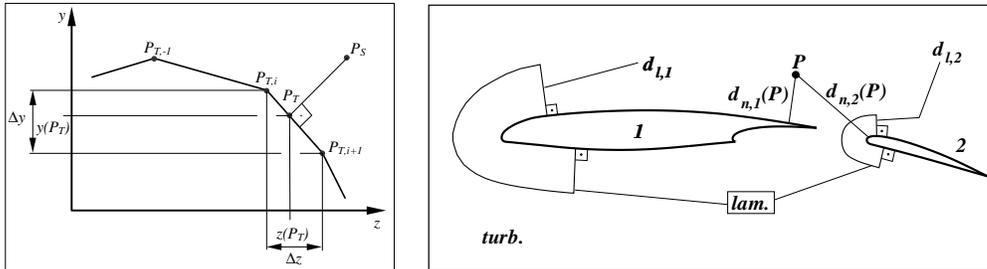


Abb. 1: Projektion der Transitionslinie in $y - z$ -Ebene und Laminarzonen an 2-Komponenten-Konfiguration

Durch Zuordnung eines laminar-turbulenten Status $ltflag(P_S)$ per

$$\begin{aligned} x(P_S) \geq x(P_T) &\Rightarrow ltflag(P_S) = 1 \Leftrightarrow turbulent, \\ x(P_S) < x(P_T) &\Rightarrow ltflag(P_S) = 0 \Leftrightarrow laminar \end{aligned} \quad (2)$$

werden laminare und turbulente Oberflächenpunkte identifiziert. Jede Konfigurationskomponente mit Transitionslinie wird in dieser Weise behandelt.

2. Transitionsetzen im Raum

In direkter Nachbarschaft der laminaren Oberflächenstücke wird die laminare Grenzschicht approximiert durch Laminarzonen, erzeugt durch Projektion der Oberflächenkontour ins Strömungsfeld. Die wandnormale Ausdehnung der Zonen ist steuerbar durch einen begrenzenden Abstand d_l zwischen der Oberfläche und dem Aussenrand der Zone. Zur Erzeugung der Zonen wird bei Existenz von n_C Transitionslinien mit den begrenzenden Abständen $d_{l,i}$, $i = 1, \dots, n_C$ für jeden Feldpunkt P folgender Algorithmus durchlaufen:

- 1) Berechnung des Wandabstands $d_{n,i}(P)$, $i = 1, \dots, n_C$ zu jeder Oberfläche mit Transitionslinie.
- 2) Bestimmung des P nächst gelegenen Oberflächenpunkts $P_{S,i}^n$ auf jeder Oberfläche mit Transitionslinie.
- 3) Anwendung folgender Bedingung für alle Konfigurationskomponenten mit Transitionslinie, Abb. 1:

$$d_{n,i}(P) < d_{i,i} \Rightarrow \text{ltflag}(P) = \text{ltflag}(P_{S,i}^n), i = 1, \dots, n_C \quad (3)$$

Der Algorithmus wird nach einer "voll turbulenten" Initialisierung des Strömungsfelds angewendet, was zu einer "Laminarisierung" bestimmter Turbulenzgrößen führt. Seine Anwendung ist auf strukturierten und unstrukturierten Rechennetzen möglich und ist im Fall strukturierter Netze topologieunabhängig.

3. Laminar-turbulenter Status

Während der Erzeugung der Strömungslösung mit FLOWer wird der laminar-turbulente Status $\text{ltflag}(P)$ bei Einsatz algebraischer Wirbelviskositätsmodelle zur Laminarisierung der Wirbelviskosität μ_t verwendet,

$$\mu_t^{\text{code}}(P) = \text{ltflag}(P)\mu_t(P), \quad (4)$$

bei Transportgleichungsmodellen wird zusätzlich der Produktionsterm P_t manipuliert,

$$P_t^{\text{code}}(P) = \min[P_t(P), D_t(P)C_t^{\text{ltflag}(P)}], \quad (5)$$

mit dem Destruktionsterm D_t und einem Limiter $C_t > 0$.

4. Ergebnisse

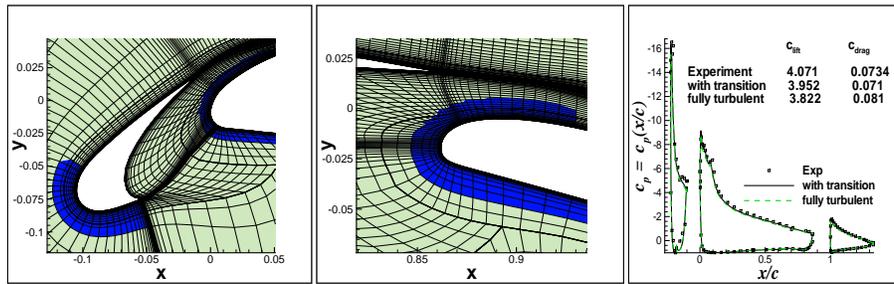


Abb. 2: Laminarzonen an Vorflügel und Hauptelement (links) und an der Klappe (rechts) eines 3-Element-Profiles und c_p -Verteilungen

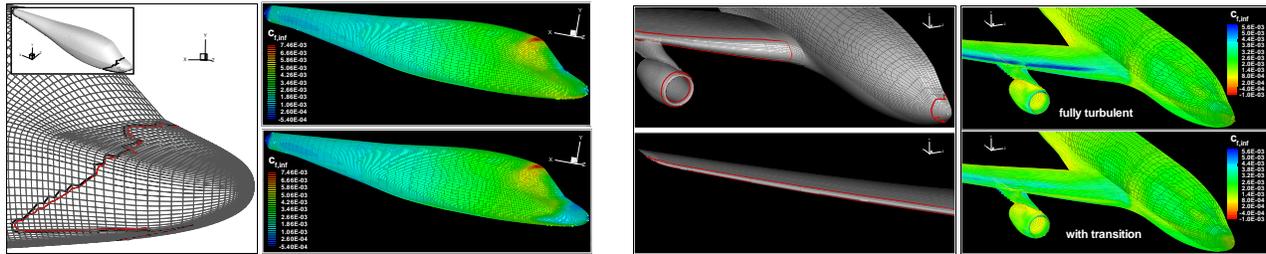


Abb. 3 (links): Vorgegebene (dünn) und abgebildete (dick) Transitionslinie an Hubschrauberrumpf und c_f -Verteilungen für voll turbulente Rechnung (oben) und Rechnung mit Transition (unten)

Abb. 4 (rechts): Rumpf-Flügel-Triebwerk-Pylon-Konfiguration mit Transitionslinien an Rumpf, Triebwerk und Pylon und c_f -Verteilungen für voll turbulente Rechnung und mit Transition

5. References

- 1 AUMANN, P.; BARTELHEIMER, W.; BLEECKE, H.; EIFELD, B.; LIESER, J.; HEINRICH, R.; KROLL, N.; KUNTZ, M.; MONSEN, E.; RADDATZ, J.; REISCH, U.; ROLL, B.: FLOWer Installation and User Handbook, Release 115, Doc.Nr. MEGAFLOW-1001, Institut für Entwurfsaerodynamik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., 1998
- 2 KRUMBEIN, A.: AVTAC Advanced Viscous Flow Simulation Tools for Complete Civil Aircraft Design - Transition Prescription and Prediction, Deliverable Task 3.2, AVTAC/DEL/DLR/D3.2C5, July 1999

Address: DR. ANDREAS KRUMBEIN, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - DLR,
Institut für Entwurfsaerodynamik, Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig